

从北京观象台造仪看“工程”的若干特征

张久春¹, 张柏春²

(1. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100190;
2. 中国科学院自然科学史研究所, 北京 100190)

摘要: 17世纪, 欧洲耶稣会士来华, 并以传播科学助力传教。他们为明清两朝的历法制订做出贡献, 并将欧洲的天文仪器技术介绍到中国。为满足制订历法的需求, 耶稣会士南怀仁及其中国合作者在1669—1674年制造了赤道浑仪、黄道浑仪、地平经仪、象限仪、纪限仪和天体仪。这些仪器装备了清朝的北京观象台, 完成了观象台的改造工程, 满足了当时制订历法的需求。这些天文仪器的规划、设计、制造和使用表明了工程的若干特征: 以需求为导向, 制订系统的工程规划; 追求高成功率, 尽量采用可靠的技术; 以有效的技术集成为工程创新奠定基础; 工程团队由工程师、工匠和管理者等不同角色构成; 现代工程将技术、科学与管理等知识整合并运用于人们的实践, 实现更大规模的工程。

关键词: 北京观象台; 仪器制造; 工程; 特征

中图分类号: N91

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2014)04-0434-07

引言

学术界对“工程”(engineering)做了不同的定义或概念性描述。《新大英百科全书》将“工程”定义为将科学最适宜地应用于自然资源向人类各种用途转化的专门行业(professional art)^[1]。工业革命有力地推动了科学的应用, 促成了工程科学的兴起。李伯聪先生将“工程”解释为与科学、技术并列的一类社会活动。他认为工程活动以建造为核心, 以“项目”为单位, 成果形式主要是物质产品和设施^[2]。

进一步分析“科学应用”的内涵, 我们可将“工程”理解为技术、自然科学、管理知识等的运用, 在古代尤其是技术的运用。技术和管理应当是工程的基本要素。工程是一个庞大的专门知识体系, 现代工程的主要领域包括土木工程、矿冶工程、机械工程、电气与电子工程、化学工程、

石油工程、军事工程、造船与航海工程、航空航天工程、纺织工程、生物工程、核工程等。

科学技术的学科史研究事业在中国经历了近百年的发展历程。不过, 某些学者似乎对“工程”的内涵及其与技术、科学的关系仍存在模糊的理解。本文试以清朝观象台(图1)天文仪器制造工程为例, 来理解“工程”的若干特征。

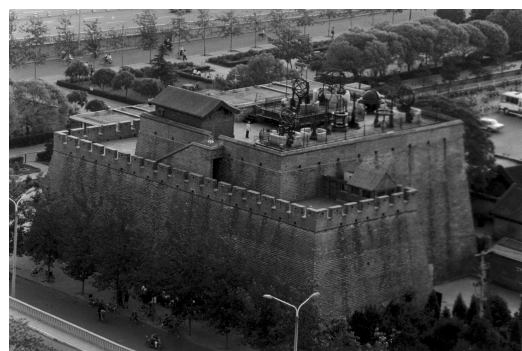


图1 北京观象台

图片来源: 北京天文馆提供。

收稿日期: 2014-09-28; 修回日期: 2014-11-05

作者简介: 张久春(1969-), 男, 助理研究员, 研究方向为科技政策与科技史。E-mail: study999@263.net

张柏春(1960-), 男, 研究员, 研究方向为科技史、科技战略。E-mail: zhang-office@ihns.ac.cn

1 社会需求与工程规划

在古代中国,天文学在社会中占有特殊的地位,天文机构、颁布历法和制造仪器是皇权的象征。为了表明“受命于天”和满足实际需要,历代帝王都制订历法,利用占星学来解释所谓的“天意”。天文学家借助仪器进行观测,逐步发现日、月和五星的运动规律,发展合理的数学算法并制订历法。到明代,天文学陷于停滞,当时的《大统历》未脱离《授时历》的臼巢,天文仪器为元代简仪和宋代浑仪的复制品。万历年间,天文学衰落到了难以编制符合天象的历书的地步,这为外来知识的传入提供了空间。

意大利耶稣会士利玛窦(Matteo Ricci, 1552—1610)在1600年前后结识徐光启(1562—1633)等中国学者,希望通过参与皇家天文学工作来争取朝廷对传教士及其传教活动的认可。在1629年,徐光启奉旨督领修订历法,并聘用耶稣会士参与修历。于是,德国传教士邓玉函(Johannes Schreck Terrentius, 1576—1630)和意大利传教士龙华民(Nicolas Longobardi, 1559—1654)开始帮助徐光启制订工作计划。

传教士编算历法时采用欧洲人的天球坐标和60进制制,分周天为 360° 。若继续采用中国传统仪器的坐标和刻度,他们就须做繁复的换算。因此,传教士宁愿使用欧洲式的仪器,把中国人的 360° 又 $1/4$ 度和百刻制改为便于计算的 360° 制刻度和60进制制^[3]。另外,观象台的圭表、浑仪和简仪等旧仪器年久失修,精度不及早年。如此,制造欧式仪器自然成为一项新的需求。

1629年邓玉函在帮助徐光启制订修历计划时,就将制造欧洲式的仪器列为重要任务之一。徐光启在1629年9月向朝廷提出《急用仪象十事》,请求制造象限仪、纪限仪、天球仪、地球仪、望远镜等十种欧洲式的仪器,其中较大的仪器暂时先用木材制作。邓玉函去世后,意大利传教士罗雅谷(Giacomo Rho, 1592—1638)德国传教

士汤若望(Johann Adam Schall von Bell, 1592—1666)奉命协助徐光启制订历法。罗雅谷在《测量全义》中简要介绍了欧洲的天文仪器,包括丹麦天文学家第谷(Tycho Brahe, 1546—1601)的多种仪器。不过,到清军攻占北京时,明朝尚未造出大型金属仪器。

明亡时,汤若望、罗雅谷携《崇祯历书》和仪器转为清朝服务。汤若望得清朝的重用,以“掌印”身份主持钦天监的工作。1660年,顺治帝批准汤若望的请求,召比利时传教士南怀仁(Ferdinand Verbiest, 1623—1688,图2)到钦天监协助工作。经过康熙历狱案之后,南怀仁重新获得朝廷的信任。1669年4月1日康熙帝下旨任命他负责“治理历法”。作为钦天监的实际主持人,南怀仁在“治理历法”伊始便奏请制造欧洲式的观测仪器。1669年9月,康熙帝批准礼部“照南怀仁所指式样速造”新仪。



图2 南怀仁

图片来源:文献[4]图版第1页。

2 仪器的设计和制造

仪器制造工程包括设计、制造、装配与试用

等环节, 其中首要的是设计和制造工艺。传教士在异质文化中制造仪器, 面临着选择什么设计方案和制造工艺等问题。

南怀仁通晓数学和天文学, 还了解欧洲的仪器技术。除了采取欧洲的天球坐标和刻度划分方法, 他还以第谷的书 (*Astronomie Instauratae Mechanicae*, 1602) 中描述的仪器结构为蓝本^[5], 设计六种仪器的核心结构, 并选择欧洲人用的横截线刻度、螺钉联接和螺栓调节机构等。不过, 他并非简单地照搬第谷的设计, 而是兼收其他欧洲仪器和中国仪器的某些结构设计。例如, 设计纪限仪的支架上部时, 他把第谷的双弧仪的支架半环改为齿弧和小齿轮构成的机构, 从而使仪器具有更好的操纵性能。他选用中国龙的造型设计仪器的支撑结构, 既满足功能要求, 又表现出皇家风格和中国文化的特征。

任何仪器设计都通过合适的制造工艺来实现。17 世纪欧洲天文仪器的许多零件是锻造的, 而中国的金属成形方法以铸造见长。南怀仁利用北京的技术条件, 与中国匠人进行合作, 以精湛的铸铜工艺为主, 辅以切削加工工艺, 制造出所有的仪器零部件。为铸造出精美的龙形支架 (图 3) 等复杂结构, 他选用中国工匠所熟悉的失蜡法, 也就是现今所称的熔模铸造。在精加工阶段, 他引入了欧洲的畜力刮削 (图 4)、人力镟削、磨削、刻线等金属切削加工技术。

早在协助汤若望时, 南怀仁就在规划仪器制造工作, 且绘制过仪器图样。1669 年 9 月朝廷批准他造仪器。在 1674 年 1 月底之前, 他和中国工匠们制成了六架仪器, 之后将它们安装在观象台上 (图 5), 从东南角向西、向北、向东依次为赤道经纬仪 (图 6)、天体仪 (图 7)、黄道经纬仪 (图 8)、地平经仪 (图 9)、象限仪 (图 10) 和纪限仪 (图 11)。为了制造这六架仪器及其周围的铁栅栏, 清朝户部提供了铜、铁、金叶、黄蜡和松香等主要物料。此外, 工部还负担了一万二千多银两的物料、匠夫和工价^[6]。



图 3 龙形支架

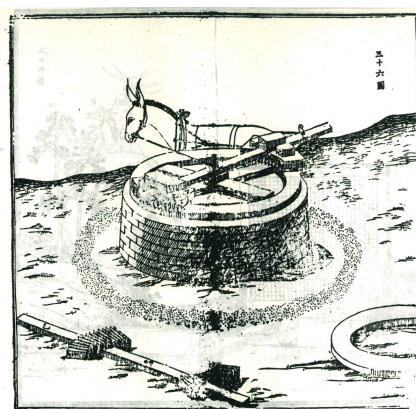


图 4 畜力刮削

图片来源: 文献[3]423。

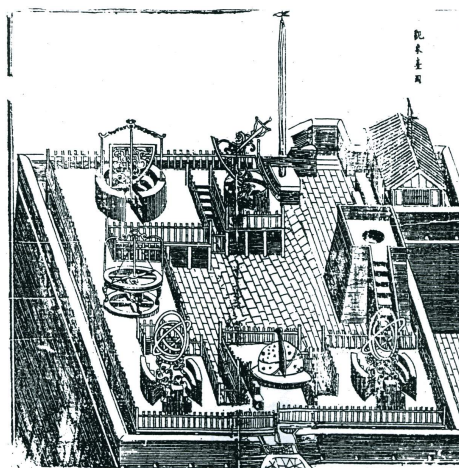


图 5 观象台上的六架仪器

图片来源: 文献[3]405。

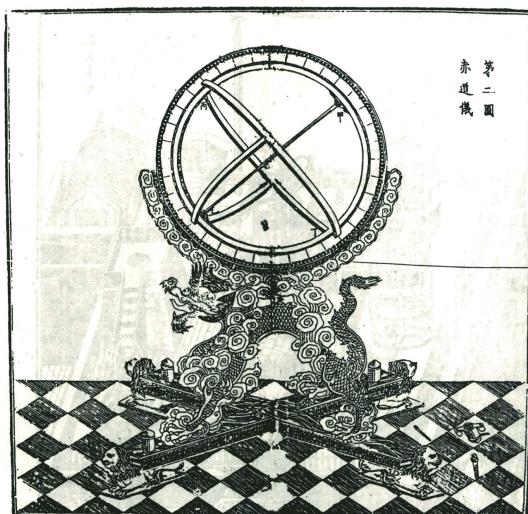


图6 赤道经纬仪（赤道浑仪）
图片来源：文献[3]406。

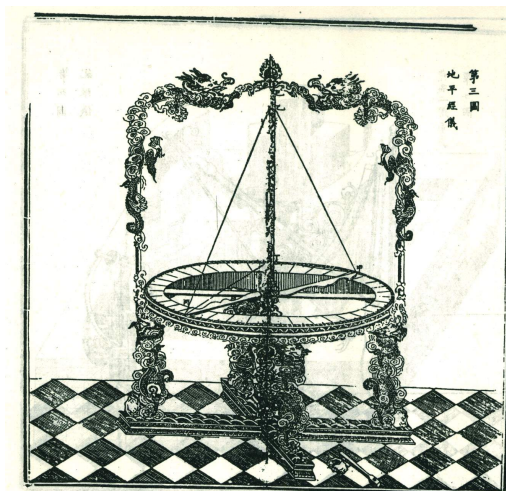


图9 地平经仪
图片来源：文献[3]407。

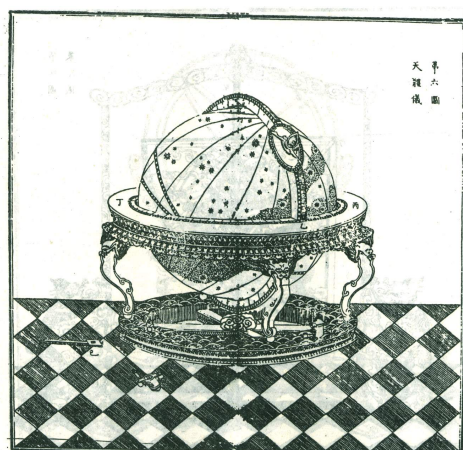


图7 天体仪
图片来源：文献[3]408。

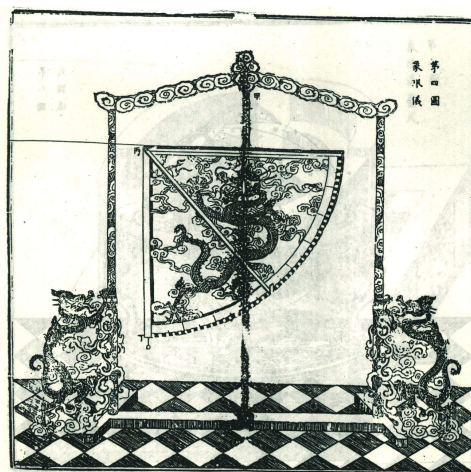


图10 象限仪
图片来源：文献[3]407。



图8 黄道经纬仪（黄道浑仪）
图片来源：文献[3]406。

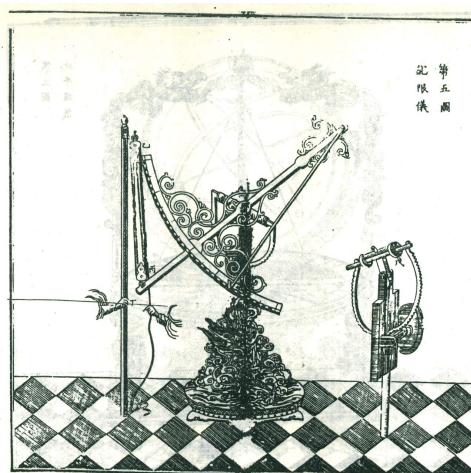


图11 纪限仪
图片来源：文献[3]408。

仪器制成后,需要使用者做正确的操作与维护。南怀仁编撰了《新制灵台仪象志》,其中前十四卷是《仪象志》,后两卷是《仪象图》。该书以文字和图解的方式,详解黄道经纬仪(黄道浑仪)、赤道经纬仪(赤道浑仪)、象限仪、地平经仪、纪限仪和天体仪的构造原理、装配和使用的方法,以及零部件制造工艺与相关原理。此书首先是写给钦天监工作人员的。作者明确指出:“要使肄业之官生服习心喻,不致扞格而难操。”^{[3]14}直到1744年,《新制灵台仪象志》仍然是钦天监天文科测算星象的常用书。

在《新制灵台仪象志》中,南怀仁对一些技术难点和中国人不熟悉的螺旋等技术做了重点解说。他强调,天体仪的圆球不易加工成与天球符合的真圆,且“难于周围均轻而无偏垂”。为了做到仪体“均轻”,须利用力学的“权衡之理”,将球体重心调整到其形心,直到“任意旋转,手离则仪不动”的状态^{[3]29}。《新制灵台仪象志》卷二的《新仪坚固之理》引用了伽利略(G. Galilei, 1564—1642)分析材料承力效果的方法,即《关于两门新科学(力学和弹性学)的对话和数学证明》(*Discorsie dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla mechanica & i movimenti locali*, 1638)中“第一日”和“第二日”的内容,并以图例说明材料截面形状与受力大小之间的关系(图12、图13)^[7]。

3 对工程的评价

1674年初之后,钦天监利用新仪器持续进行

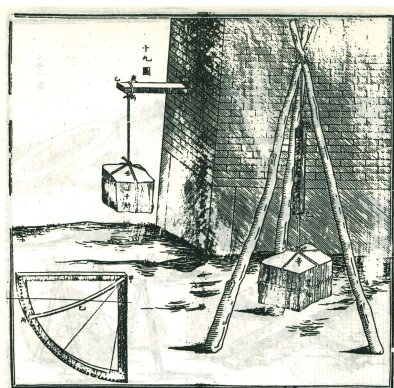


图12 材料抗拉与抗弯曲

图片来源:文献[3]415。

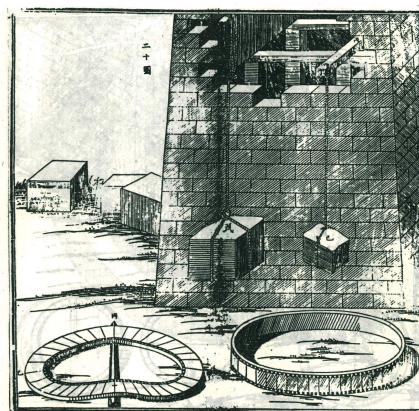


图13 材料形状与受力变形

图片来源:文献[3]415。

观测,而欧洲天文仪器则继续不断创新。到18世纪,与欧洲的新仪器相比,北京观象台成了“科学恐龙”^[8]。

从工程的目标来看,南怀仁设计的仪器在精度方面完全胜任清朝的观测工作。钦天监所需要的坐标值通常只到“分”,而南怀仁所用第谷式刻度使仪器的最小刻度达到6或10这样的水平。后世学者往往比照欧洲装有望远镜的仪器,来判断观象台仪器的落后程度^[9]。事实上,在17世纪70年代,望远镜在方位观测方面并不比欧洲天文学家赫维留(Johannes Hevelius, 1611—1687)所造的第谷式仪器更优越。那时望远镜因球面像差和色差而未能胜任精确的方位观测^[10]。赫维留曾与哈雷(Edmond Halley, 1656—1742)进行天体方位观测竞赛,其结果是哈雷的带望远镜的仪器没能胜过赫维留的只有裸眼照准仪的传统仪器^[11]。

早在1619年,邓玉函就将望远镜带到中国^[12]。望远镜在中国的天文机构被用于观测日食和月食等天象。1634年12月,徐光启的继任者李天经(1579—1659)向明朝崇祯皇帝进献望远镜^[13]。这架望远镜是传教士对欧洲产品加以“葺饰”而成的。1635年9月,李天经奏报已制成两架望远镜,并准备进呈。明朝天文机构留下的望远镜被汤若望献给了清朝。如果仅限于观测日食和月食,南怀仁似乎没必要添造望远镜。

耶稣会士以传教为使命,科学、技术与工程

活动不过是为他们为传教开路的策略。南怀仁告诉远在欧洲的天主教徒们:“我们的天文学是在全中国繁育宗教的最重要的根基”;“以天文学为借口,而实际上是更清楚地证明我们的宗教的真实”^[14]。他们只需制造钦天监编制历法所用的仪器,而不一定要思考欧洲天文学家所面对的新科学问题。当中国朝廷对历法满意时,传教士也就不必介绍最前沿的科学成果和更新式的仪器。

4 工程的若干特征

基于上述事例分析,我们试对“工程”的特征做如下归纳,以加深对“工程”的理解。

工程以需求为导向。科学在某种意义上是满足科学家求知欲的兴趣,而工程则要满足社会需求。在需求的推动下,筹划和实施目标明确的工程,投入相应的人力和物力。传教士主持制造北京观象台的仪器,首先是缘于明清两朝天文事业的迫切需要。在朝廷的立项支持下,才能够制造大型的仪器。对传教士来说,他们也需要通过这种服务,来争取朝廷允许他们在华传教。

工程追求成功率,实现有限目标。一般来讲,工程有非常明确的目标和技术路线,基本上要避免失败。因此,工程要设法使投入的资源产生预期的实效,尽可能选择和整合可靠的技术,并不片面追求诸多环节的创新,以便降低工程的风险。通过有效的技术集成,辅以必不可少的技术创新。南怀仁就充分运用了中国工匠所熟悉的青铜铸造工艺。美国阿波罗登月工程就是充分综合运用成熟技术的典范^[15]。

工程为技术应用与创新提供了平台,有可能带动技术的创新,并实现“工程创新”。南怀仁及其中国合作者选择便于把握的、成熟的设计和制造工艺,巧妙地将欧洲的设计、欧洲的螺旋机构及切削加工工艺与中国的铸造工艺结合起来,为观象台制造出“混血儿”式的仪器,实现了工程创新。

工程需要进行规划。工程的主持者选择较成熟的技术,这就增强了工程活动的可预见性,使

管理者较容易测算工程进度。曼哈顿工程、阿波罗登月工程、中国载人航天工程等复杂的大工程都做系统而周密的规划,选择成熟可靠的技术,同时进行必要的创新,探索出大科学工程的管理模式。相比之下,技术发明,特别是科学发现属于探索未知的活动,不可预见性强,失败的风险大,不易做过细的规划。

工程活动的主角是工程师、工人,以及投资者和管理者等。在企业里,企业家是最重要的管理者,工程师和工人是主要的技术载体。有的企业家可能既是决策和管理者,又是技术专家。在古代,朝廷是开凿大运河、修筑长城、建造观象台等大工程的投资者,一些官员扮演了管理者的角色。现代社会的政府更是许多大型工程的投资者和管理者。工程师要兼顾多种因素,权衡利弊,有效、安全地解决实践问题。有些工程师或工匠通过创造新技术而成为发明家。

投资者、管理者、工程师和工人等角色要组成合理配置的团队,充分发挥各自的特长,共同实现工程目标。明末就有“思精推测、巧善绘制”的郭明著和陈于阶两位中国人协助邓玉函试制欧洲式的仪器^[16]。在清朝仪器制造工程中,南怀仁扮演总设计师的角色,并且从整体上主持制造工作。他的团队里还有许多中国的工匠和管理者,包括清朝工部官员郎翁英与图哈齐,钦天监官员刘蕴德、孙有本和天文生等30人。其中必有技艺不俗的中国匠师参与,否则,就不能用失蜡法铸造出精美的龙形支架。

在古代工程实践中,工程师和工匠们将技术经验总结为规范化的知识,发展并改进各种工具,还将规范化的技术知识与管理规则结合起来,以至于出现了《考工记》这样的经典书籍。17世纪科学革命以来,特别是工业革命以来,越来越多科学知识被运用于工程。伽利略试图用力学和数学知识解决工程问题。邓玉函试图运用力学知识分析实用的机械,与中国学者王徵(1571—1644)合编《远西奇器图说录最》。南怀仁引用力学知识,

解说天文仪器的结构合理性。到了现代, 工程科学已经成为工程实践所仰赖的知识和方法。

参考文献

- [1] Encyclopedia Britannica Editorial. volume 18: Engineering[G]// The New Encyclopaedia Britannica. 15th. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1993: 414.
- [2] 李伯聪. 工程哲学和工程研究之路[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 18-32.
- [3] 南怀仁. 新制灵台仪象志, 1674[G]//薄树人. 中国科学技术典籍通汇: 天文卷(七). 郑州: 河南教育出版社, 1998.
- [4] 张柏春. 明清测天仪器之欧化[M]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2000: 164.
- [5] Bosmans H. Ferdinand Verbiest, Directeur de l'Observatoire de Peking [J]. Revue des Questions Scientifiques, 1912, 21: 195-273.
- [6] 韩琦, 吴旻, 校注. 熙朝崇正集熙朝定案(外三种)[M]. 北京: 中华书局, 2006: 115-116.
- [7] 严敦杰. 伽利略的工作早期在中国的传布[J]. 科学史集刊, 1964 (7): 8-27.
- [8] Chapman A. Tycho Brahe in China: The Jesuit Mission to Peking and Iconography of the European Instrument-Making Process [J]. Annals of Science, 1984, 41: 417-443.
- [9] 刘金沂. 《灵台仪象志》评介[J]. 中国科技史料, 1984, 5 (4): 101-107.
- [10] 席泽宗. 南怀仁为什么没有制造望远镜[G]// 席泽宗. 古新星新表与科学史探索: 席泽宗院士自选集. 西安: 陕西师范大学出版社, 2002: 614-616.
- [11] Repsold J A. Zur Geschichte der Astronomischen Messwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach[M]. Leipzig, 1908: 39.
- [12] 张柏春, 田淼, 马深孟 (Matthias Schemmel), 等. 传播与会通: 《奇器图说》研究与校注: 上篇[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2008: 60-62.
- [13] 徐光启, 李天经, 马深孟 (Matthias Schemmel), 等. 新法算书: 卷一至八(治历缘起, 1629-1643)[G]// 景印文渊阁四库全书: 第 788 册. 台北: 商务印书馆, 1972-1975: 53.
- [14] Golvers N. The Astronomia Europaea of Ferdinand Verbiest, S. J. (Dillingen, 1687): Text, Translation, Notes and Commentaries[M]. Sankt Augustin & Leuven: Steyler Verlag, 1993: 55, 93.
- [15] 潘教峰, 李成智, 周程, 等. 重大科技创新案例[M]. 济南: 山东教育出版社, 2011: 190-205.
- [16] 徐光启. 徐光启集[M]. 北京: 中华书局, 1963: 428.

Some Properties of ENGINEERING as Exemplified by the Construction of Instruments for the Beijing Observatory

Zhang Jiuchun¹, Zhang Baichun²

(1. Institute of Policy and Management, CAS, Beijing 100190, China;

2. Institute for the History of Natural Sciences, CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: In the 17th century, Jesuit missionaries came to China, and transmitted scientific knowledge to assist their missionary work. They contributed a lot to calendar-making in Ming Dynasty and Qing Dynasty, and introduced European astronomical instrument technology into China. In order to meet the urgent needs of calendar-making, Ferdinand Verbiest, a Jesuit, and his Chinese co-workers constructed an equatorial armillary sphere, an ecliptic armillary sphere, an azimuthal instrument, a quadrant, a sextant and a stellar globe during the period from 1669 to 1674, which equipped the Beijing Observatory and made the Observatory reconstructed. The planning, design, manufacturing and usage of these instruments exemplified some properties of ENGINEERING as follows: it is led by social needs; it should systematically be planned; it pursues high success rate and makes use of reliable technologies; engineering innovation is based on the efficient integration of different technologies; an engineering team consists of different actors, such as engineers, craftsmen and managers; modern engineering means the integration and application of technologies, sciences and management knowledge to humankind's practices in large-scale engineering.

Keywords: Beijing Observatory; instrument-constructing; engineering; properties